

Agricultures des savanes du Nord-Cameroun

Vers un développement solidaire
des savanes d'Afrique centrale



Projet Garoua

IRAD ■ CIRAD ■ ORSTOM

Ministère de la recherche scientifique et technique du Cameroun

Ministère français de la coopération

Caisse française de développement

Actes de l'atelier d'échange

25-29 novembre 1996

Garoua, Cameroun

Reboiser les sols dégradés sahéliens

Le cas des sols *hardé* de la région de Maroua

R. PELTIER¹, P. DONFACK², O. EYOG-MATIG²,
C. FLORET³, J.-M. HARMAND⁴,
D. MASSE³, F.-C. NJITI⁵, R. PONTANIER³,
J. SEGHERI³, C. SEIGNOBOS³,
L. SEINY BOUKAR², B. THEBE³,
C. TRIBOULET³

1. CIRAD-Forêt / ENGREF, BP 5093,
34032 Montpellier Cedex 1, France
2. IRAD, BP 33, Maroua, Cameroun
3. ORSTOM, 213 rue Lafayette, 75480 Paris
Cedex 10, France
4. CIRAD-Forêt / IRAD, BP 222, Maroua, Cameroun
5. IRAD, BP 415, Garoua, Cameroun

Résumé — Dans la région soudano-sahélienne du Nord-Cameroun, existent de vastes surfaces de sols ayant un couvert de végétation très faible et très discontinu, désignés en langue peule par le terme de *hardé*. Poussés par les services de développement qui voulaient reboiser autoritairement ces terres, les chercheurs-forestiers ont tout d'abord essayé des méthodes exigeant de gros moyens mécaniques et des essences exotiques à croissance rapide, mais celles-ci ont échoué. Ils ont donc repris le problème en étudiant, tout d'abord, les pratiques paysannes et la dynamique naturelle de la végétation. En fait, les sociétés agropastorales de cette région font un usage non négligeable de ces sols pour l'élevage et la cueillette. De plus, elles ont mis au point une méthode de mise en valeur, fondée sur un carroyage de systèmes anti-ruissellement et sur une rotation entre pâturage de saison des pluies et culture de sorgho de saison sèche. Il a été possible de cartographier ces sols par télédétection et de décrire leurs caractères pédologiques et hydrologiques. La replantation de certaines terres a été étudiée en associant le reboisement à base d'espèces locales à usages multiples, avec une gestion de la strate herbacée spontanée. Les méthodes mises au point, bien que peu spectaculaires, se révèlent adaptées aux besoins et aux possibilités des sociétés rurales de cette région pour gérer rationnellement leur environnement.

Mots-clés : planosol, dégradation des sols, restauration de la fertilité, pratique paysanne, dynamique de la végétation, hydrologie, plantation forestière, Nord-Cameroun.

Qu'est-ce que les terres *hardé* ?

Il faut bien avouer qu'il y a une dizaine d'années, le sens des termes *hardé*, sol *hardé*, terres *hardé* n'était pas bien défini, chacun donnant un peu celui qui l'arrangeait. La définition qui faisait l'unanimité, au Nord-Cameroun, c'est qu'un sol *hardé* était dépourvu de végétation, se fondant ainsi sur une simplification outrancière de la définition exacte du mot fulfuld¹.

Or, en zone sahélienne, si la densité de bétail est élevée, presque tous les sols se trouvent dénudés en fin de saison sèche, les résidus de récolte ou les herbacées spontanées ayant été consommées par le bétail et les termites et les arbres ayant pour la plupart perdu leurs feuilles. C'est ainsi que des administrateurs, ou même des scientifiques, ont souvent demandé quelle solution préconiser pour régénérer les sols *hardé* qu'ils avaient vus en entrant dans la ville de Maroua, alors qu'il s'agissait en fait des plus riches champs de mil de la région qui n'attendaient que les premières pluies pour être semés et couverts d'une belle robe verte.

C'est ainsi que depuis des décennies, les administrateurs du Nord-Cameroun et les financiers de passage ont demandé aux agronomes de faire des plantations sur les terres *hardé*, sans bien leur dire, ni lesquelles, ni comment procéder !

Des premiers travaux aux résultats spectaculaires mais de courte durée

Les premiers travaux des agronomes et des forestiers de l'IRA (Institut de la recherche agronomique, Cameroun) et du CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), au lieu-dit Gaklé, suivirent la même

1. Le fulfuld est la langue des Foulbés (le singulier est *pullo*), couramment et improprement appelés Peuls.

démarche, à quelques années d'intervalle et eurent le même résultat.

Il s'agissait, dans les années 80, de montrer que si l'on y mettait les grands moyens, le problème des sols *hardé* était facile à résoudre. Ayant calculé le coût à l'hectare, il aurait suffi, ensuite, par une simple règle de trois, de calculer la surface à régénérer en fonction des crédits disponibles. On loua donc aux sociétés de travaux publics les plus puissants tracteurs à chenilles disponibles et un sous-solage fut effectué à 60 ou à 80 cm dans ce vertisol très dégradé. Les agronomes semèrent du riz et les forestiers plantèrent des eucalyptus. Les deux plantes poussèrent très correctement, au-delà même des espérances, atteignant presque la croissance habituelle sur vertisol.

Malheureusement, environ trois années après ces réalisations, les nouveaux semis de riz commencèrent à produire médiocrement, les eucalyptus cessèrent leur croissance et se mirent lentement à mourir.

Des premiers résultats suivis d'effets

A partir de 1984, l'IRA, associé au CIRAD-Forêt, décida qu'il avait perdu une bataille et non la guerre. Il reprit donc ses travaux sur un sol totalement nu, en saison sèche et en saison des pluies. Celui-ci servait, depuis des décennies, de zone de rassemblement du bétail, de terrain de foot, et même de garage.

Une observation rapide mais attentive du milieu naturel et des pratiques paysannes avaient en effet convaincu les chercheurs forestiers que certaines espèces arborées locales pouvaient survivre sur ces

sols et que les méthodes d'économie de l'eau utilisées par les paysans pouvaient en accroître la production.

Sans trop entrer dans les détails, il fut démontré que des arbres tels que *Acacia nilotica* ou *Sclerocarya birrea* pouvaient survivre et même pousser sans autre travail du sol que le trou de plantation et qu'elles pouvaient même avoir une croissance intéressante et surtout durable, grâce à la construction de diguettes de terre de 20 cm qui concentraient l'eau de pluie à leur pied. Ces premiers succès contribuèrent à relancer l'intérêt pour l'étude des sols *hardé*, et c'est ainsi qu'à partir de 1985, certains scientifiques travaillant dans la région consacrèrent une part de plus en plus importante de leur temps à l'étude de ce type de sol, en particulier avec l'appui du projet Garoua. Voici donc un bref résumé des résultats acquis.

Utilisation des sols *hardé* par les populations : tradition et innovation

Une série d'enquêtes et d'entretiens fut menée auprès des populations agro-pastorales de la région du Diamaré pour cerner leur perception de ces sols et l'usage qu'elles en font. Les populations distinguent plusieurs sortes de sols *hardé* en fonction de la possibilité ou non de les mettre en culture, de leur couleur (blanc, rouge, noir), de leur salinité et de leur place dans la toposéquence, souvent en haut de la série des sols vertiques (figure 1).

Autrefois utilisés uniquement par l'élevage, ils ont été peu à peu mis en valeur par la culture de *Sorghum*

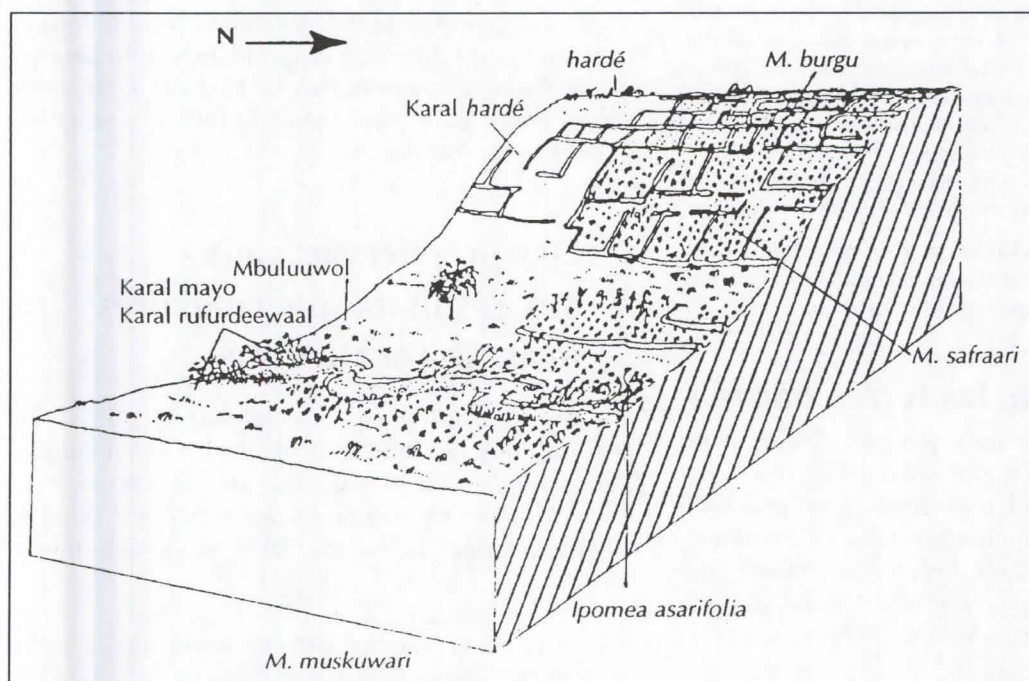


Figure 1.
Diagramme de
Dakar village
(canton de Maroua).

bicolor, race *durra*, sorgho repiqué de saison sèche ou *muskuwari*. Cette culture, adaptée aux sols lourds, fut certainement introduite au XIX^e siècle au Nord-Cameroun mais s'étendit considérablement, dans les années 70, en raison de l'utilisation par le coton des sols légers autrefois réservés aux cultures vivrières. Lorsque tous les vertisols furent utilisés, elle fut étendue aux sols *hardé*.

La mise en valeur de ceux-ci doit nécessairement être collective à l'échelle d'un ou de plusieurs terroirs villageois, car elle impose une modification des habitudes de pâturage et un champ isolé en brousse serait pillé par les oiseaux. Elle nécessite, en général, la mise en place d'un réseau de diguettes, souvent assez lâche au départ, mais dont la maille est progressivement subdivisée. Cette technique bloque le ruissellement de l'eau de pluie et l'oblige à s'infiltrer dans des sols naturellement peu perméables, ce qui entraîne un développement de graminées au cours de la saison des pluies. Les agriculteurs gèrent avec soin cette biomasse de façon à en faciliter la fauche et la mise à feu en début de saison sèche avant le repiquage du sorgho. Les diguettes modifient la composition floristique (disparition d'adventices parasites comme *Striga hermonthica*) et les agriculteurs enrichissent parfois celle-ci en espèces faciles à faucher et à brûler comme *Loudetia togoensis*.

Cependant, les sols *hardé* conservent encore d'autres utilisations que celle du sorgho. Ils servent de lieu de cueillette, en particulier les années de disette, pour divers fruits, fleurs, feuilles et tubercules et on y récolte le bois. Le gibier, autrefois attiré par le sel, est devenu très rare et la capture des grenouilles pour l'extraction de matière grasse est aujourd'hui négligée. Au contraire, l'utilisation des sols *hardé* comme pâturage reste vitale pour l'élevage, en particulier pendant la saison des pluies, lorsque les bas-fonds sont inondés et les sols légers mis en culture. En bordure de village, ils servent à parquer, regrouper et trier le bétail.

Estimation de la surface des sols dénudés

La surface des sols présentant un état de surface dénudé a été évaluée dans la région de Maroua, afin d'estimer la part occupée par les terres *hardé*. A cette fin, trois images Spot XS, obtenues par télédétection, en janvier 1987, octobre 1988 et novembre 1988, ont été utilisées.

Toutes les surfaces dénudées ayant des caractéristiques communes qui sont reflétées par la signature radiométrique, l'une de ces surfaces a été choisie comme référence pour identifier les valeurs radiométriques des pixels² qui la composent. On a procédé ensuite à une partition de l'ensemble des pixels qui

constituent chaque image en séparant ceux qui ont une signature³ identique, ou voisine, de ceux de la zone de référence. Par traitement, les pixels, ainsi mis de côté, ont été dénombrés et, leur surface unitaire étant connue, la superficie totale dénudée de la région a été déduite. On a pu alors procéder à des comparaisons de superficies par date. Par ailleurs, on a pu représenter sur une carte tous les pixels correspondant aux surfaces dénudées. Il a fallu tenir compte des variations de superficie issues de changements temporaires ou de certaines confusions possibles.

C'est ainsi que les résultats suivants ont été trouvés : la superficie des surfaces dénudées est bien évidemment plus importante en fin de saison sèche qu'en fin de saison des pluies, surtout lorsque celle-ci a été favorable à la recolonisation partielle des sols *hardé* par la végétation herbacée. Le rapport de superficie entre les sols dénudés et la superficie totale est de 13 % en janvier 1987, de 3,5 % en octobre 1988 (figure 2) et de 5,4 % en novembre 1988. Par ailleurs, différents types de sols peuvent avoir des états de surface dénudés et une signature radiométrique identique à celle des sols *hardé*, à condition qu'ils aient été compactés en surface (pistes de troupeaux) et qu'ils soient de couleur claire très réfléchissante (lits de rivières asséchés). Mais si les images Spot ne permettent pas actuellement de cartographier tous les sols *hardé* et uniquement ceux-ci, elles permettent d'en faire une bonne estimation, en particulier lorsque vient de finir la saison des pluies. Sur la région couverte par l'image Spot, d'une superficie de 330 000 ha, le pourcentage de sols *hardé* a été estimé à 5,5 %, ce qui correspond à 18 000 ha.

Dans l'avenir, il serait possible de faire un suivi pluriannuel des surfaces de sols *hardé* en effectuant une étude sur leur localisation, leur évolution et leur dynamique spatiale par rapport aux activités humaines (villes et villages, pistes à bétail, mises en culture) et aux groupes pédologiques.

Comportement hydrologique des sols *hardé*

L'hydrodynamique des sols *hardé* a été approfondie.

Une étude hydrologique sur un bassin de 18 km², représentatif de la région de Maroua, près du village de Mouda, a été menée. A l'intérieur de celui-ci, a

2. Les pixels sont des carrés de sol de 20 x 20 m dont le satellite mesure la signature.

3. La signature radiométrique est mesurée par le satellite en fonction de l'énergie électrique renvoyée par le sol dans trois longueurs d'onde. Elle est fonction de la pédologie et de la couverture végétale.

été défini un micro-bassin de 3 000 m², délimité par une levée de terre. Celui-ci était occupé par des sols *hardé* à différentes phases de dégradation (figure 3). Il fut équipé de postes pluviométriques, pluviographes, d'une station hydrométrique et de tubages pour le suivi neutronique de l'humidité du sol.



Figure 2. Image SPOT bicolore, région de Maroua, octobre 1988.

Note : Les pixels correspondant aux surfaces dénudées sont imprimées en noir. En cette fin de saison des pluies, on peut considérer qu'il ne s'agit que des sols *hardé*. Mais une partie d'entre eux qui sont couverts d'une fine végétation ne sont pas pris en compte. En faisant un comptage automatique de ces pixels, la surface occupée par les sols *hardé* est sous-estimée (3,5 % de l'image).

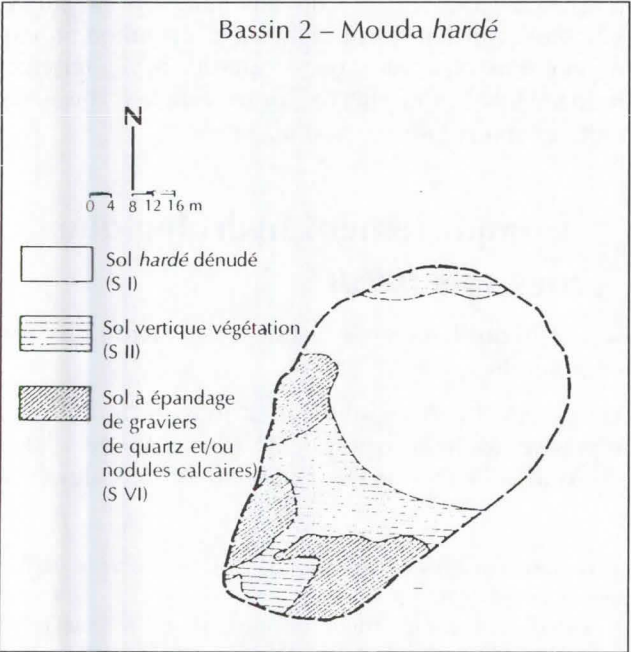


Figure 3. Carte des états de surface et représentativité des sites de simulation de pluies.

Les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sol représenté sur le micro-bassin ont été d'abord déterminées.

Cela fut fait, d'une part, en saison sèche, à l'aide d'un infiltromètre à aspersion qui reproduit artificiellement des pluies ayant les mêmes caractéristiques que les averses naturelles et, d'autre part, en saison des pluies, où ces mesures ont été vérifiées avec un dispositif de suivi de ruissellement sur parcelles de 1 m². Le tout a permis d'établir un modèle qui donne le ruissellement en fonction de la hauteur de l'averse, de l'état antérieur d'humectation du sol et d'un indice de couvert végétal. Le modèle permettant le transfert des résultats de la simulation de pluie sur 1 m², au bassin versant, consiste à déterminer la fonction de production du bassin. La lame ruisselée calculée (Lrc) est égale à la somme des lames ruisselées calculées de chaque unité cartographique (Lrci), multipliée par leurs surfaces respectives. La fonction de calage permet de passer de la lame ruisselée observée à celle qui est calculée, de façon à tenir compte de l'effet de pente, de l'état de la végétation (plus ou moins sèche) et de la répartition des sols par rapport aux rigoles de drainage. Ayant ainsi quantifié le ruissellement potentiel des différentes zones du bassin, les hydrogrammes globaux de crue de celui-ci ont été observés à l'exutoire. Il a été remarqué que, sur ce bassin, une averse ayant une pointe unique d'intensité engendre un hydrogramme à deux maxima (figure 4). Il a été déduit que la première pointe de crue est provoquée par les eaux de ruissellement d'une unité en amont, représentative des sols *hardé*, dont les tests au simulateur ont montré la rapidité de réaction à une averse. La deuxième pointe de crue résulte de l'adjonction du ruissellement sur le reste du bassin, dont la capacité d'infiltration est

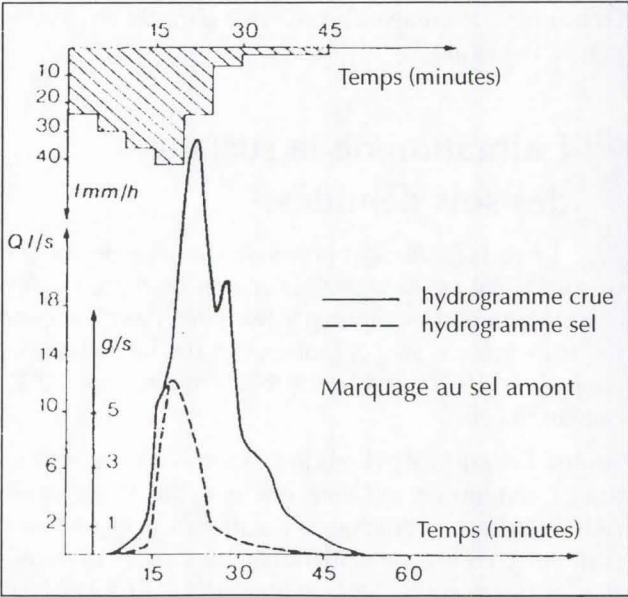


Figure 4. Crue du 8 août 1986.

supérieure, en partie à cause de la végétation. Cette hypothèse a été vérifiée par traçage au sel et à la fluorescéine.

En cas de fortes pluies, comme elles sont courantes au Nord-Cameroun en début d'hivernage, (50 à 100 mm en quelques heures), les rivières dont le bassin versant est dominé par les sols *hardé*, peuvent déborder très rapidement. Aussi, les crues subites du Mayo Kaliao entraînent chaque année plusieurs noyades et la destruction de dizaines d'habitations dans la ville de Maroua. La replantation d'une partie des bassins pourrait diminuer l'intensité maximum et étaler la durée d'écoulement de ces rivières.

**Description pédologique
des sols *hardé* et comportement
hydrodynamique**

Les sols *hardé* et leur comportement hydrodynamique ont été décrits pédologiquement.

Ces sols sont dérivés de vertisols aux caractéristiques très homogènes sur l'ensemble du profil (40 % d'argile smectitique, pH neutre, 0,8 % de matière organique, capacité d'échange cationique de 35 meq/100 g). Ils se distinguent de ceux-ci par la dégradation de l'horizon superficiel sur une profondeur de 10 à 20 cm ; cette dégradation se manifeste par une structure massive et l'absence de pores et d'activité biologique. En surface, la pellicule de battance est renforcée par une couche d'algues de couleur sombre. Dans cet horizon dégradé, les fentes ont disparu, la teneur en argile est proche de 10 %, la matière organique en relation avec la disparition de la végétation tombe à 0,5 % et la capacité de stockage de l'eau disponible pour la végétation, à 7 mm pour 10 cm de sol (contre 20 mm pour le vertisol). L'érosion dégage parfois 1 m de sol jusqu'à atteindre l'horizon calcique à nodules calcaires.

La technique de simulation de pluie a permis de déterminer en mode synchrone les quantités d'eau infiltrées et le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol.

De plus, des suivis pluriannuels en mode diachrone ont permis de mesurer en conditions naturelles les lames d'eau ruisselées, la quantité d'eau infiltrée, ainsi que la redistribution spatiale et temporelle de l'eau du sol par la méthode des profils hydriques (sonde à neutrons). On a vu ainsi que les sols *hardé* perdent jusqu'à 50 % d'eau par ruissellement sur une année ; de ce fait, en année déficitaire, ce ne sont que 250 mm d'eau qui s'infiltreront. Pour des pluies très violentes, l'infiltration baisse jusqu'en dessous de 30 %.

L'humectation des sols *hardé* dépasse rarement 25 cm et leur stock d'eau augmente en général de moins de 25 mm pendant une saison des pluies, soit quatre fois moins que le vertisol (figure 5). C'est ainsi que les sols *hardé* offrent rarement plus de deux à trois mois de disponibilité en eau pour la végétation, chaque année, sur l'ensemble de leur profil alors que les vertisols offrent en permanence quelques réserves disponibles en profondeur.

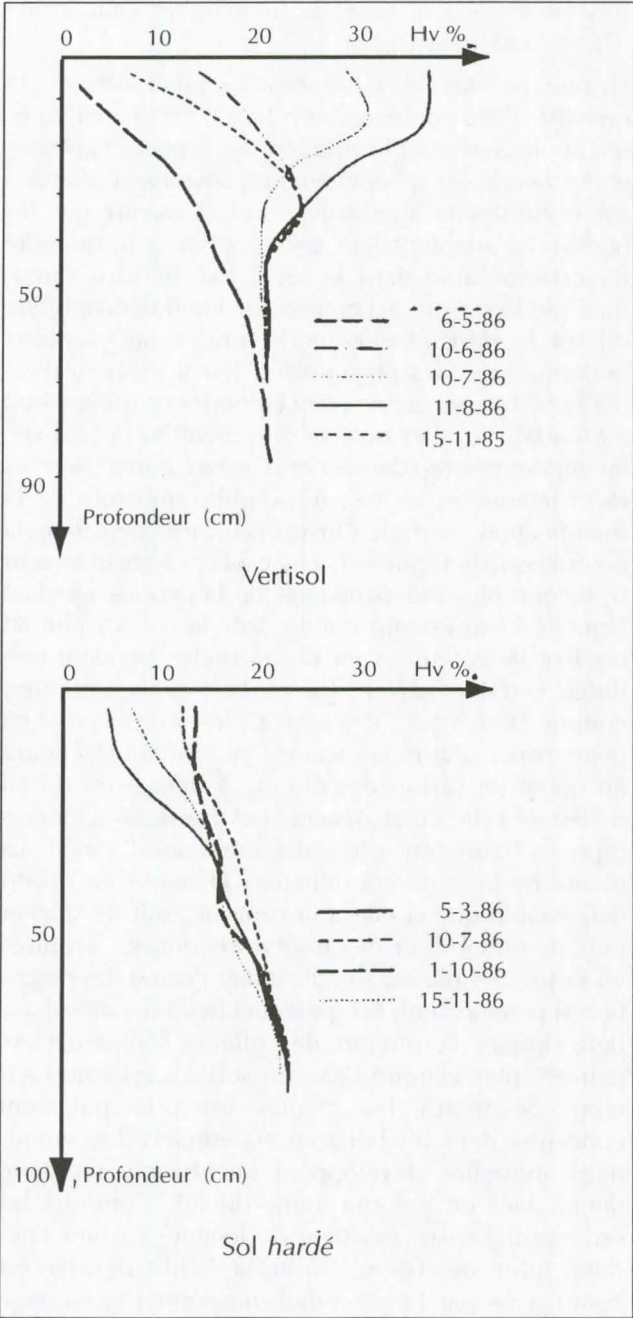


Figure 5. Comparaison au cours de l'année 1986 des profils hydriques d'un vertisol et de son faciès de dégradation (*hardé*).

Etude de la dynamique saisonnière de la végétation en savane sahélo-soudanienne

La végétation d'un sol *hardé* qui servait de lieu de pâturage et de cueillette aux habitants du village de Mouda, au sud de Maroua, a été décrite. Elle comprend une strate arbustive très pauvre, dominée par *Dichrostachys cinerea* et *Lannea humilis*, et une strate herbacée constituée presque exclusivement par des graminées annuelles parmi lesquelles domine *Schoenefeldia gracilis*. Le recouvrement herbacé est très faible (5 à 8 %) et la hauteur de cette strate dépasse rarement 10 cm.

Ensuite, pendant deux années, les précipitations, la quantité d'eau contenue dans le sol, les températures ont été mesurées et l'évolution des espèces ligneuses et des herbacées (phénologie, recouvrement, composition floristique) a été suivie. Cela a montré que les herbacées adaptent leur cycle de vie à la quantité d'eau disponible dans le sol. La sécheresse climatique de la région, accentuée par l'aridité édaphique du sol *hardé* (ruissellement) entraîne une certaine uniformisation des phénologies. Il y a très peu d'espèces herbacées qui peuvent coloniser ce milieu (huit à Mouda), car elles doivent être capables de se fixer, de germer très rapidement et d'arriver à mobiliser les rares ressources en eau disponibles au profit de la fructification, tout en s'investissant très peu dans la production de biomasse. Les espèces ligneuses sont beaucoup plus indépendantes de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol. La plupart perdent leurs feuilles en saison sèche, pendant une durée variable suivant les espèces mais certaines, comme *Balanites aegyptiaca*, les conservent en permanence. Parmi les acacias, *Acacia senegal* fleurit en début de saison des pluies, *Acacia gerrardii* au milieu de celle-ci, et *Acacia hockii*, à la fin. D'autres espèces fleurissent plusieurs fois dans l'année. La plante ne peut photosynthétiser et fleurir en saison défavorable que si elle a la capacité, soit de stocker puis de remobiliser des réserves hydriques acquises en saison des pluies, soit d'extraire l'eau à des potentiels supérieurs à pF 4,2 (potentiel hydrique du sol au-delà duquel la plupart des plantes tempérées ne peuvent plus extraire l'eau du sol). Le système racinaire de toutes les plantes est principalement concentré dans les horizons superficiels. Les graminées annuelles développent un chevelu racinaire dense dans un volume limité de sol, alors que les espèces ligneuses émettent de longues racines latérales (plus de 10 m), dont la faible densité est compensée par la pérennité qui permet le captage des premières pluies infiltrées.

Pour étudier la variation de l'évolution du recouvrement herbacé en fonction des scénarios pluviométriques,

les auteurs ont irrigué des carrés de 5 m² en début de saison des pluies. En première année, cela a permis le développement d'une importante biomasse ; en deuxième année, sans aucune irrigation, le recouvrement herbacé a également été très important sur ce carré, car le paillis d'herbe morte de l'année précédente a facilité l'infiltration de l'eau, la fixation et la germination des graines. A partir de cet îlot planté de végétaux, le tapis herbacé recolonise progressivement le sol *hardé* par un front de colonisation constitué de *Schoenefeldia gracilis*.

Sur ce type de sol, plus que sur tout autre, la répartition des pluies est plus importante que leur quantité, car le stockage d'eau est très limité. Celles-ci doivent humidifier le substrat assez longtemps pour que les phases de germination et de levée puissent s'accomplir, puis maintenir une hygrométrie de l'air au sol suffisante pour maintenir les plantules en vie. C'est pourquoi l'application de techniques visant à limiter le ruissellement des pluies et à améliorer l'infiltrabilité du sol devrait permettre de réhabiliter ces milieux.

Des réussites en matière de reboisement

Un criblage de plusieurs dizaines d'espèces d'arbres, qui ont été plantées sur le sol *hardé*, de Salak en utilisant, pour certaines d'entre elles, différents travaux du sol, a été effectué. Le but est de trouver celles qui sont susceptibles de contribuer à la restauration de ces sols, tout en assurant une certaine production de bois, de fruits ou de produits divers aux agriculteurs.

Un premier essai, installé en 1983 à Gaklé, à 10 km au sud de Maroua, a permis de comparer la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* sans travail du sol, avec labour et avec différentes profondeurs de sous-solage. En l'absence de travail du sol, le boisement disparaît. Le travail mécanique du terrain permet une croissance initiale d'autant plus grande qu'il est profond, mais ses effets s'estompent avec le temps et la production finale de bois, de l'ordre de 1 m³/ha/an, est trop faible pour rentabiliser le coût d'installation.

L'essai, installé à Salak en 1985, concerne quatre espèces plantées avec quatre types de travaux du sol. Les espèces exotiques ne survivent que grâce aux dispositifs d'économie de l'eau. Dans le meilleur des cas (lorsqu'il y a des diguettes), *Dalbergia sissoo* atteint difficilement la production de 1 m³/ha/an, alors qu'*Azadirachta indica* produit plus de 2 m³/ha/an. Les espèces locales peuvent survivre même avec une simple trouaison, mais le sous-solage ou la mise en place d'un réseau de diguettes permet

d'améliorer fortement leur production, jusqu'à 1,6 m³/ha/an pour *Acacia nilotica adstringens*, et à plus de 2 m³/ha/an pour *Sclerocarya birrea*. En outre, ces espèces produisent des gousses utilisées dans l'artisanat du cuir pour le premier, et des fruits comestibles pour le second.

Un essai, installé en 1986, également à Salak, permet de comparer la croissance d'*Acacia senegal* en fonction de quatre dispositifs d'économie de l'eau réalisés manuellement. Le taux de survie de cette espèce locale est dans tous les cas supérieur à 80 % et se trouve amélioré par les dispositifs. Ceux-ci ont, de plus, un effet très net sur la croissance en hauteur ; elle est augmentée de 20 % par des fossés de 20 cm de profondeur, creusés selon un anneau de 50 cm autour du plant, et par la levée d'un réseau de diguettes de 15 cm de haut reliant les plants entre eux ; elle est enfin améliorée de plus de 30 % par le creusement de fossés rectilignes de 1,5 m de long, 30 cm de large et de profondeur, creusés à 10 cm du plant du côté amont.

Afin de diversifier la gamme d'espèces utilisables, on a réalisé en 1985 un criblage de dix-huit espèces locales, de six espèces exotiques déjà utilisées dans la région et de seize espèces introduites d'Amérique centrale. Cet essai a subi un incendie accidentel qui a créé une sélection des espèces tolérantes au feu ; c'est ainsi que la plupart des acacias locaux n'ont pas été affectés. Pour la croissance, on peut classer les espèces dans l'ordre décroissant suivant : *Acacia dudgeoni*, *A. nilotica ssp. adstringens*, *A. sieberiana*, *A. nilotica ssp. nilotica* et *A. senegal*. Parmi les espèces exotiques dites « acclimatées », *Eucalyptus camaldulensis* et *Azadirachta indica* ont une croissance acceptable et résistent assez bien à divers traumatismes (dégâts du bétail, feu). De nombreuses espèces d'Amérique centrale ont eu une bonne croissance de départ mais, après quelques années, seuls *Gliricidia sepium* et *Senna atomaria* ont survécu au passage du feu et ont eu une croissance comparable à celle des acacias locaux.

Enfin, les coûts totaux des plantations d'arbres sur ce type de sol s'échelonnent de 230 000 francs CFA/ha pour le sous-solage, à 130 000 francs CFA/ha pour les diguettes ou les fossés en anneaux. Ces coûts sont très élevés, comparés à la modeste production de bois (à titre de comparaison, un manoeuvre gagne environ 1 000 F CFA par jour et 1 m³ de bois de feu livré en ville coûte environ 10 000 F CFA). En revanche, si l'on considère la production de gomme d'*Acacia senegal* sur ce type de sol (NJITI *et al.*, 1995), celle-ci peut atteindre 160 kg/ha/an. Ce produit est vendu en Europe à 3 000 francs CFA/kg. Si des circuits de commercialisation peu taxés se mettaient en place, on pourrait envisager de l'acheter 1 000 francs CFA/kg au producteur. On voit que dans

ce cas, la production d'une seule année couvrirait les frais de mise en place des arbres. Malgré des coûts d'entretien et de récolte élevés, un tel reboisement pourrait être rentable économiquement, tout en jouant un rôle de régénération écologique. Les travaux mécaniques ne peuvent être envisagés qu'avec l'appui de fonds extérieurs ou, pour les travaux manuels, que si les populations les réalisent à temps perdu avec un objectif diversifié (production de bois, de gomme, régénération des pâturages, amélioration de la fertilité du sol en vue de remise en culture ultérieure). Dans les systèmes de culture actuels, ces travaux peuvent être plus facilement entrepris par un groupe d'agriculteurs que par un seul individu. En effet, une plantation d'arbres de faible surface, isolée, au milieu d'un terroir à *muskuwari* alternativement cultivé et pâturé, pourrait être détruite, dans son jeune âge, par le bétail ; elle servirait de refuge à des oiseaux ou à des rongeurs nuisibles pour les cultures voisines et serait difficile à protéger contre les feux qui sont pratiqués avant le repiquage du sorgho. Il serait donc préférable d'encourager la réalisation de plusieurs reboisements individuels contigus, regroupés géographiquement sur une zone de plusieurs hectares.

La croissance aérienne des arbres expliquée par leur dynamique racinaire

Une étude d'enracinement de quatre espèces d'arbres locales et exotiques, plantées avec différentes techniques de préparation du sol, a été effectuée dans l'essai 1985 de Salak décrit précédemment. Les arbres dont la hauteur est proche de la moyenne de la parcelle ont été choisis, à raison d'un arbre par type de travail du sol. Une grille ayant un cadre métallique de 2 x 1,5 m sur lequel sont fixés des fils de nylon, qui détermineront des mailles carrées de 5 cm de côté, a été construite. Après avoir ouvert une tranchée à 1 m du collet de l'arbre, la grille a été plaquée contre la paroi de celle-ci et on a noté les coordonnées x et y de chaque racine, ainsi que sa classe de diamètre (1 : inférieur à 1 mm ; 2 : de 1 à 10 mm ; 3 : de 10 à 20 mm ; 4 : supérieur à 20 mm). Cette opération fut recommencée à 20 cm de l'arbre, puis au pied de celui-ci, après avoir recrusé la tranchée. Un programme informatique a permis de visualiser la représentation spatiale des racines et leur classe de diamètre.

Les résultats suivants par espèce et par type de travail du sol ont été trouvés.

Dalbergia sissoo
(espèce originaire des régions sèches de l'Inde)

Sur le témoin sans autre travail du sol que le trou de plantation, les racines se développent surtout dans celui-ci. Le sous-solage augmente la biomasse racinaire qui reste cependant surtout concentrée dans les raies travaillées. Les diguettes, qui assurent l'infiltration de l'eau de pluie, permettent une très forte augmentation du nombre et de la taille des racines jusqu'à environ 50 cm de profondeur ; les horizons profonds restent peu prospectés (figure 6). Il s'agit clairement d'une espèce non adaptée à ce type de sol induré et mal alimenté en eau, qui ne peut y développer son système racinaire que dans les volumes où le sol a été ameubli, grâce aux travaux d'économie de l'eau.

Azadirachta indica
(espèce originaire des régions sèches de l'Inde)

Cette autre espèce exotique est un peu mieux adaptée à ce type de sol. Sur le témoin, on constate

un enracinement légèrement mieux réparti dans les horizons profonds. Les dispositifs d'économie de l'eau lui permettent de développer fortement sa biomasse racinaire. Une partie des racines se concentre en haut de l'horizon induré, qui constitue une zone d'accumulation d'eau recherchée par les racines ; celles-ci ne craignent apparemment pas l'hydromorphie.

***Acacia nilotica adstringens*
et *Sclerocarya birrea***
(espèces sahéliennes)

Ces deux espèces locales sont beaucoup mieux adaptées à ce type de sol. Même sur le témoin, elles développent un enracinement puissant bien réparti dans le profil, jusqu'à 1,50 m de profondeur pour *Acacia nilotica* (figure 7). Les dispositifs d'économie de l'eau améliorent la répartition et la taille des racines, mais ces espèces peuvent survivre et se développer sans eux.

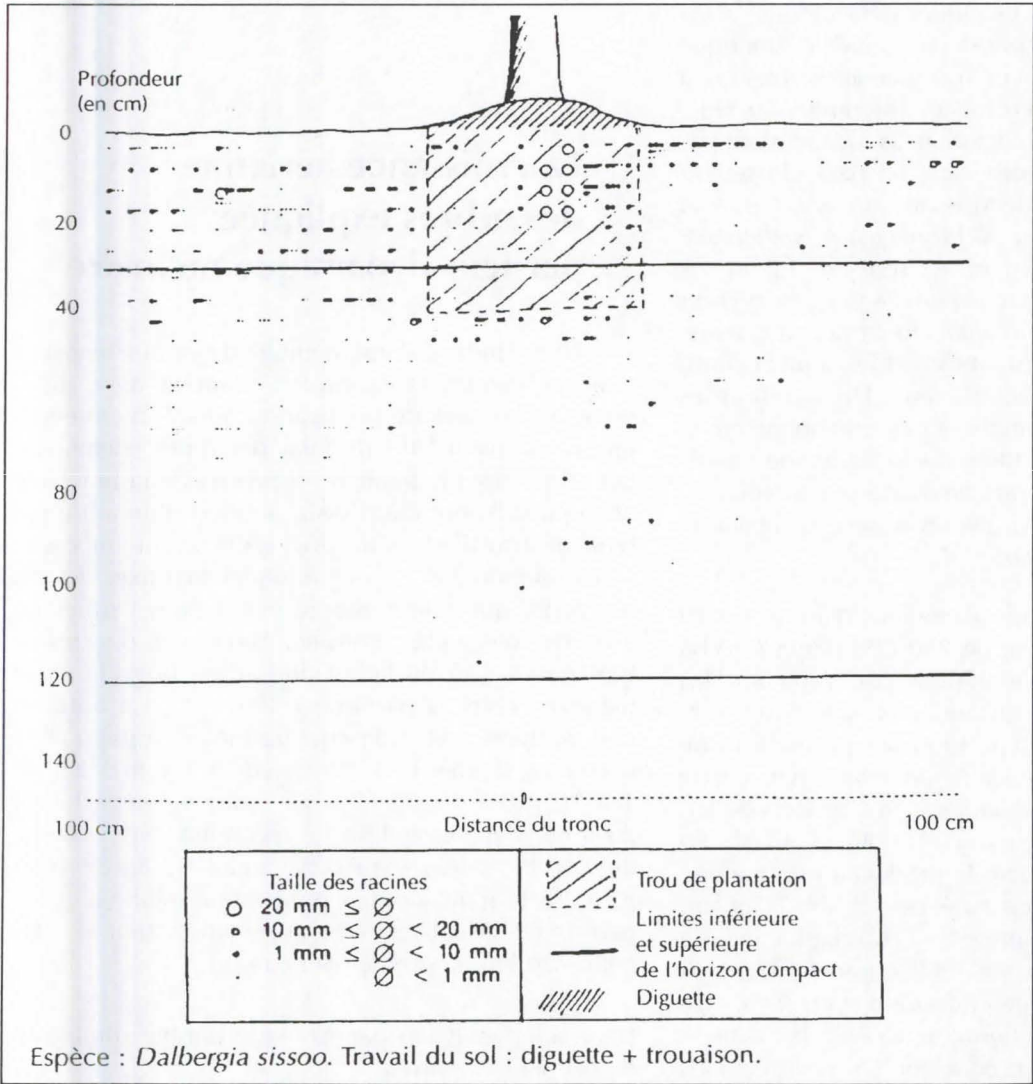


Figure 6. Diagramme de répartition spatiale des racines (espèce : *Dalbergia sissoo*, travail du sol : diguettes et trouaison).

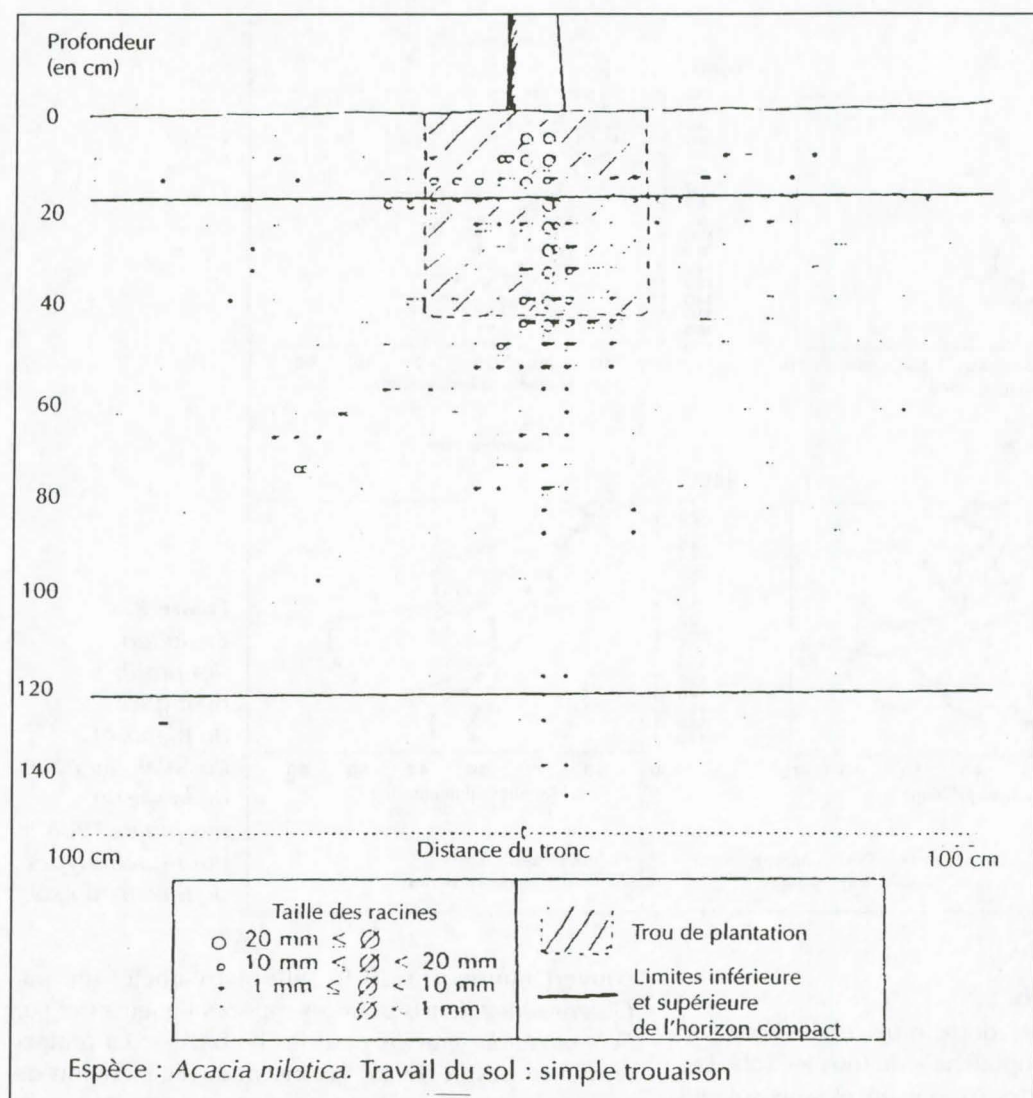


Figure 7. Diagramme de répartition spatiale des racines (espèce : *Acacia nilotica*, travail du sol : simple trouaison).

La croissance racinaire résultante de la dynamique de l'eau dans le sol

Sur ce même essai de Salak, l'évolution de l'humidité volumique du sol a été suivie à l'aide d'une sonde à neutrons, au cours de plusieurs saisons des pluies et en fonction des aménagements de surface. Les résultats obtenus pour différentes dates de l'année 1986 sont donnés sur la figure 8.

En avril 1986

En fin de saison sèche, l'humidité est comparable sur les différents profils, quoiqu'elle soit légèrement plus élevée sur le traitement « diguette + labour », où un stock d'eau important accumulé pendant la saison des pluies de 1985 n'a pas encore disparu totalement.

En juin 1986

Les premières pluies de l'année viennent de tomber. Sur le témoin « trouaison simple », seuls les vingt premiers centimètres ont pu se recharger. Sur les autres traitements, l'humidité a déjà augmenté jusqu'à 60 cm, particulièrement sur le traitement avec diguettes.

En septembre 1986

Les dernières pluies de l'année tombent sur la parcelle. Le sol de tous les traitements a été rechargé en eau jusqu'à plus de 1,2 m de profondeur. La quantité stockée reste cependant très faible sur le témoin. Sur les autres traitements, l'humidité est comparable en surface, mais au-dessous de 30 cm de profondeur, elle est supérieure sur les traitements avec diguettes (labourés ou non). Le profil n'est pas régulier et il existe une couche plus sèche à 80 cm de profondeur et une couche très humide entre 90 et 100 cm de profondeur.

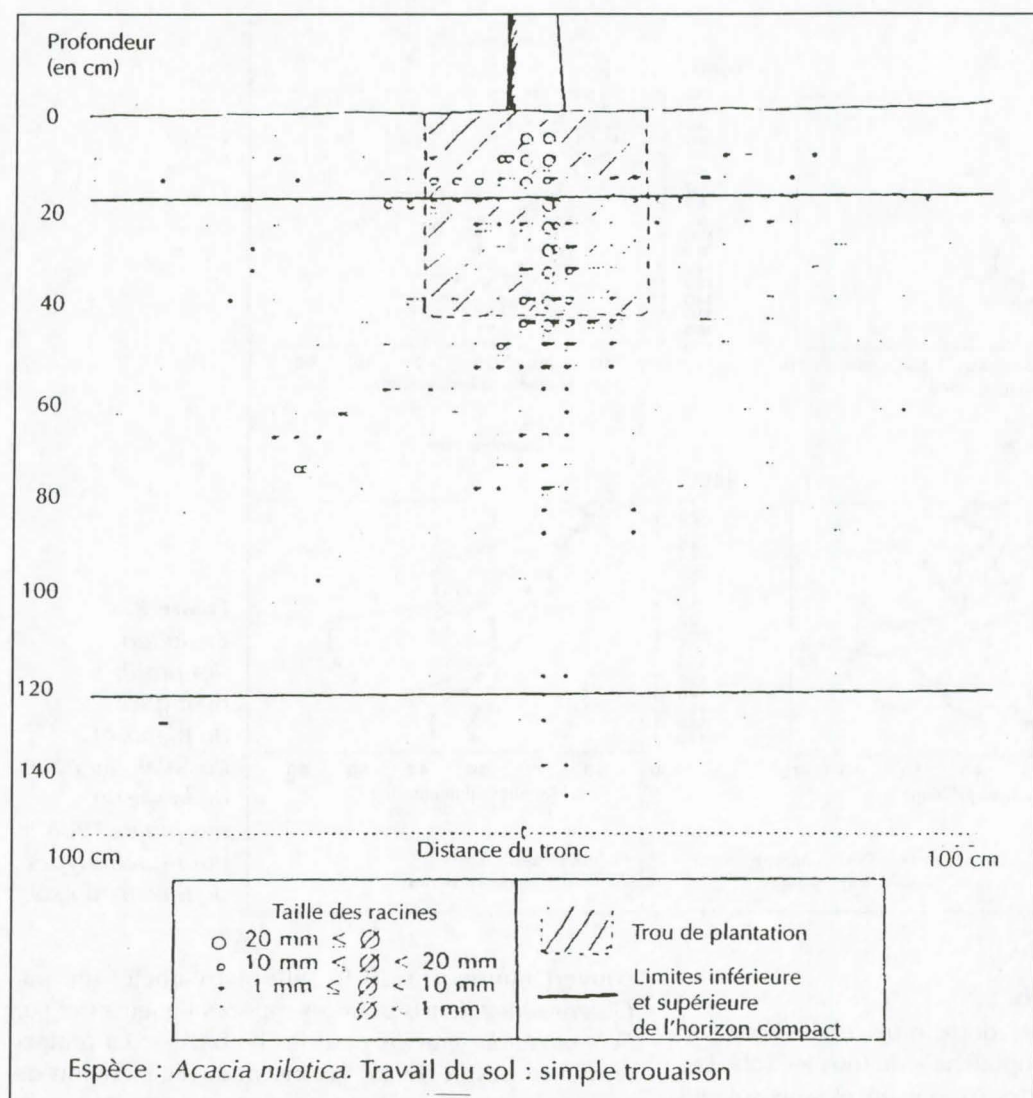


Figure 7. Diagramme de répartition spatiale des racines (espèce : *Acacia nilotica*, travail du sol : simple trouaison).

La croissance racinaire résultante de la dynamique de l'eau dans le sol

Sur ce même essai de Salak, l'évolution de l'humidité volumique du sol a été suivie à l'aide d'une sonde à neutrons, au cours de plusieurs saisons des pluies et en fonction des aménagements de surface. Les résultats obtenus pour différentes dates de l'année 1986 sont donnés sur la figure 8.

En avril 1986

En fin de saison sèche, l'humidité est comparable sur les différents profils, quoiqu'elle soit légèrement plus élevée sur le traitement « diguette + labour », où un stock d'eau important accumulé pendant la saison des pluies de 1985 n'a pas encore disparu totalement.

En juin 1986

Les premières pluies de l'année viennent de tomber. Sur le témoin « trouaison simple », seuls les vingt premiers centimètres ont pu se recharger. Sur les autres traitements, l'humidité a déjà augmenté jusqu'à 60 cm, particulièrement sur le traitement avec diguettes.

En septembre 1986

Les dernières pluies de l'année tombent sur la parcelle. Le sol de tous les traitements a été rechargé en eau jusqu'à plus de 1,2 m de profondeur. La quantité stockée reste cependant très faible sur le témoin. Sur les autres traitements, l'humidité est comparable en surface, mais au-dessous de 30 cm de profondeur, elle est supérieure sur les traitements avec diguettes (labourés ou non). Le profil n'est pas régulier et il existe une couche plus sèche à 80 cm de profondeur et une couche très humide entre 90 et 100 cm de profondeur.

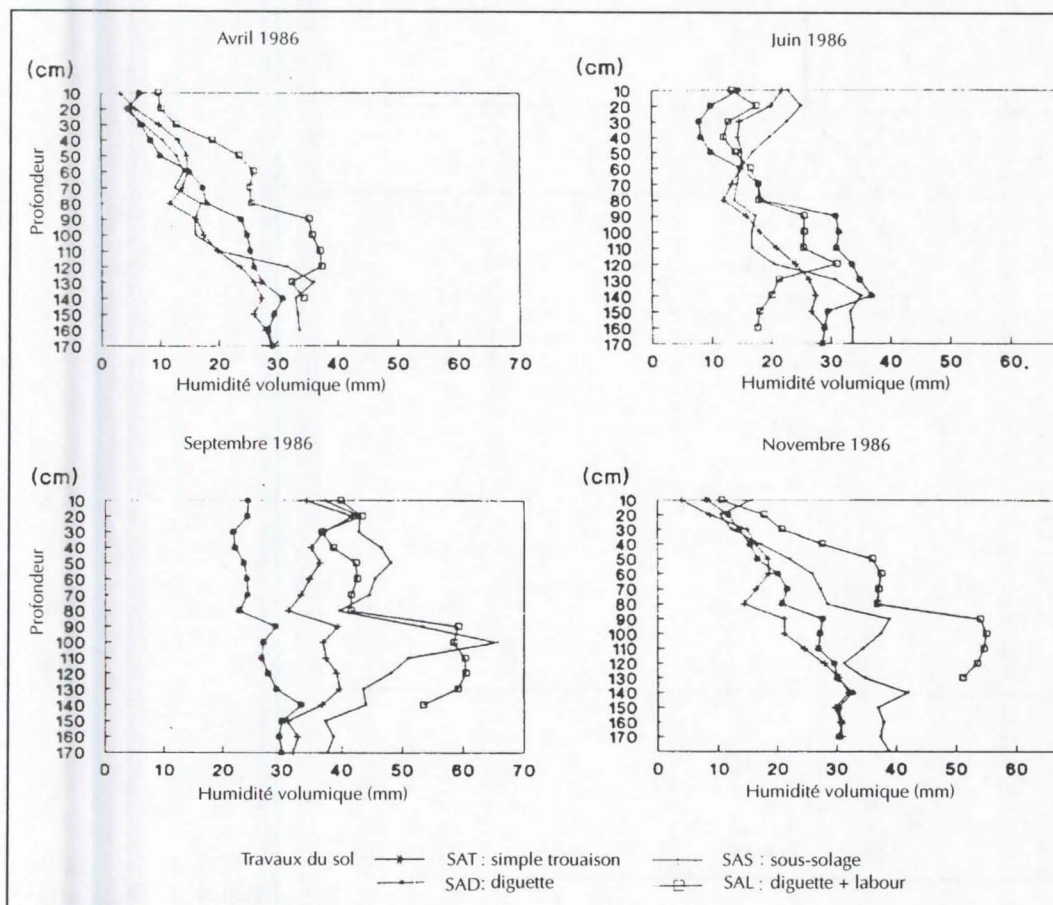


Figure 8.
Evolution
des profils
hydriques
du planosol
de Salak, au cours
des pluies 1986,
pour quatre types
de travaux du sol.

En novembre 1986

Il ne pleut plus depuis deux mois et le vent sec dessèche les horizons superficiels de tous les sols. Les traitements sans diguettes (trouaison et sous-solage) ont repris leur profil du mois d'avril. Les traitements avec diguettes conservent des réserves d'eau jusqu'au-delà de 170 cm de profondeur, en particulier pour la parcelle labourée.

Cette étude permet donc de comprendre pourquoi le développement racinaire en profondeur est plus important sur les parcelles aménagées à l'aide de diguettes, en particulier pour les espèces d'arbres sensibles à la sécheresse (supposées avoir un faible pouvoir de « capture » de l'eau du sol). Elle explique également la formation de véritables couches de racines dans les zones d'accumulation d'eau.

Une certaine synergie entre végétation arborée et herbacée

La régénération de la végétation spontanée a été suivie sur les mêmes essais en fonction des aménagements de surface, du travail du sol et de l'installation des arbres. Avant aménagement, la végétation a un

couvert inférieur à 30 %, elle est caractérisée par *Guiera senegalensis* pour les espèces ligneuses et par *Schoenefeldia gracilis* pour les herbacées. La protection et le travail du sol favorisent la régénération de nombreuses espèces ligneuses par voie végétative ou sexuée. La mise en place de diguettes augmente très fortement le recouvrement des herbacées et leur taille moyenne ; elle favorise l'installation ou le développement d'espèces indicatrices de milieux plus humides. Les fosses en anneaux ou rectangulaires concentrent la végétation autour de ces aménagements. Certains arbres, comme *Acacia nilotica*, *Dalbergia sissoo* et *Sclerocarya birrea*, favorisent le recouvrement des herbes à leur pied, tant qu'ils n'ont pas un trop grand développement végétatif. Une ombre légère est favorable à certaines espèces herbacées comme *Pennisetum pedicellatum*.

Conclusion

L'expérience des travaux menés au Nord-Cameroun sur le thème de la régénération des terres *hardé*, et en particulier de ceux menés par les forestiers, donnent certains enseignements.

Au départ, il semblait simple pour un petit groupe de chercheurs, ayant la même spécialité, de trouver

dessolutions techniques pour valoriser, en les reboisant, des terres considérées comme inutiles pour les populations. Mais les premiers résultats, pourtant encourageants, n'ont heureusement pas été diffusés, par prudence. Après l'échec de cette « tentative solitaire », le problème a été abordé en équipe multidisciplinaire avec plus de lenteur, de méthode, et en cherchant à bien expliquer les phénomènes constatés. Grâce à l'appui des géographes, sociologues, hydrologues, pédologues, écologues, physiologues, les forestiers ont compris que, dans bien des cas, la valorisation que les paysans font de leur terre par l'association agriculture/élevage est préférable à un simple reboisement. Lorsque celui-ci peut être envisagé, c'est surtout avec des espèces locales que la nature a mis des millénaires à sélectionner et avec l'appui de techniques de travail du sol que les paysans ont testées sur des décennies.

On comprend alors la nécessité, avant d'aborder un problème, de bien explorer non seulement la littérature scientifique, mais tout le savoir non écrit des populations locales ainsi que celui qui est inscrit dans les paysages.

Il est donc bien coûteux en temps et en travail d'obtenir des résultats solidement vérifiés en matière d'agronomie tropicale, mais ceux-ci ont infiniment plus de chance d'être utilisés par les populations que la plupart des travaux spectaculaires encore trop souvent privilégiés. En agronomie, comme en politique, la prise en compte des besoins et des capacités des populations est plus difficile et plus longue que les mesures autoritaires, mais ô combien plus efficace et durable !

Références bibliographiques

Tous les travaux cités dans le présent article sont extraits de l'ouvrage collectif : « Les terres *hardé*, caractérisation et réhabilitation dans le bassin du lac Tchad », 1993, Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-Forêt, et en particulier les articles suivants :

SEIGNOBOS C. *Hardé* et karal du Nord-Cameroun, leur perception par les populations agro-pastorales du Diamaré, p. 9-28.

TRIBOULET C. Identification et évaluation des états de surface à partir d'images Spot, le cas des sols dénudés de la région de Maroua, p. 29-36.

SEINY BOUKAR L., PONTANIER R. Hydrodynamique d'un sol *hardé* du Nord-Cameroun, caractéristiques et comportement, p. 37-44.

THEBE B. Hydrologie d'un micro-bassin versant où dominant les sols *hardé*, p. 45-54.

SEGHIERI J., FLORET C. Dynamique saisonnière de la végétation en savane sahélo-soudanienne, le cas des sols *hardé*, p. 54-64.

DONFACK P., FLORET P. Régénération de la végétation spontanée d'un sol *hardé*, effet des techniques d'économie de l'eau et du travail du sol, p. 71-80.

HARMAND J.-M. Reboisement d'un sol *hardé*, effet des techniques d'aménagement de surface, p. 81-98.

EYOG-MATIG O. Modification du régime hydrique d'un sol par les aménagements de surface, le cas du sol *hardé* de Salak, p. 99-110.

EYOG-MATIG O. L'enracinement de quatre espèces ligneuses sur sol *hardé*, influence des techniques de plantation et d'économie de l'eau sur la station de Maroua-Salak, p. 111-118.